

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТОННЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЙ СПЕКТРА СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Андрианов Семён Валерьевич

Мингалева Татьяна Андреевна

АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

г. Санкт-Петербург

20.03.2025



Введение и актуальность

Длительная эксплуатация тоннельных сооружений, как на территории России, так и в мировой практике, приводит к неизбежному износу конструктивных элементов. В процессе эксплуатации тоннели подвергаются различным деградиационным процессам, таким как коррозия металлических элементов, деформация бетонных конструкций, трещинообразование, образование внутренних пустот и протечек, вызванных как первичными дефектами строительства, так и последующими воздействиями окружающей среды.

Для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации тоннельных сооружений необходима регулярная диагностика их технического состояния. Одним из перспективных методов неразрушающего контроля является вибрационный мониторинг, включающий анализ собственных частот колебаний конструкции. Метод измерения микросейсмических колебаний позволяет определить частотный состав собственных колебаний тоннельных конструкций, который является ключевым параметром для оценки их механической целостности.

Собственные частоты колебания конструкций напрямую зависят от их массо-инерционных характеристик, жесткости и геометрических параметров. Любые изменения в состоянии конструкции, такие как развитие трещин, процессы коррозии или ослабление соединений, неизбежно приводят к изменению её динамических свойств, что может быть выявлено путем сравнительного анализа результатов вибрационного контроля.

Цели и объект исследования

Разработать экспресс метод исследования тоннельных конструкций для своевременного выявления аномального поведения конструкции, связанного с динамическим влиянием внутренних процессов (движение электропоездов) или в случае тоннелей не глубокого заложения - внешними факторами (железные дороги, строительно-монтажные работы, взрывы и землетрясения и пр.)

В рамках настоящего исследования проведено измерение собственных частот колебания перегонного тоннеля метрополитена с последующей качественной интерпретацией полученных данных.

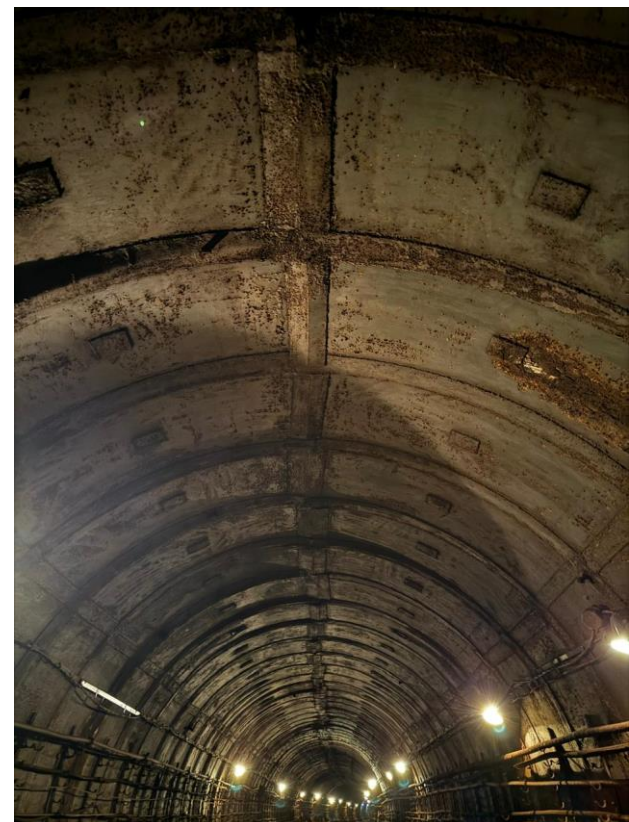
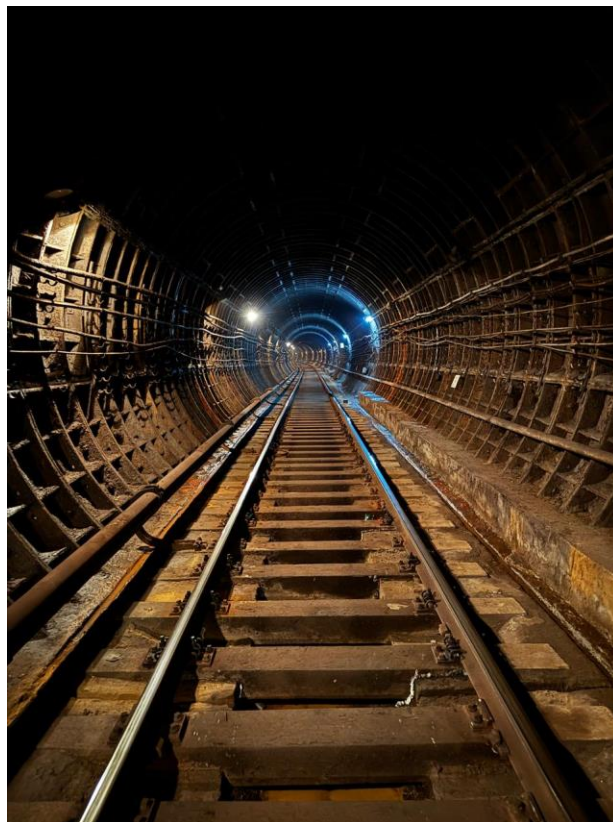
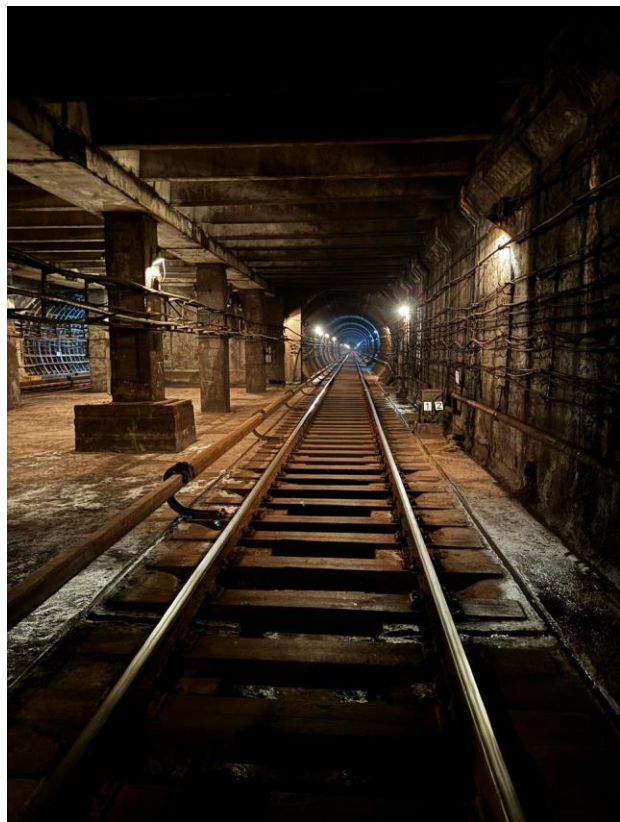
Тоннель проходит через грунты, характеризующиеся преобладанием обводненных песчаных грунтов с включениями линз суглинков, что существенно влияет на динамику его состояния. Выбран участок тоннеля почти километровой длины с различными типами конструкции обделки (сборная ж\б, чугунная без усиления и чугунная, усиленная бетоном и внутренней металлоизоляцией).

Объект исследования

сборная ж\б

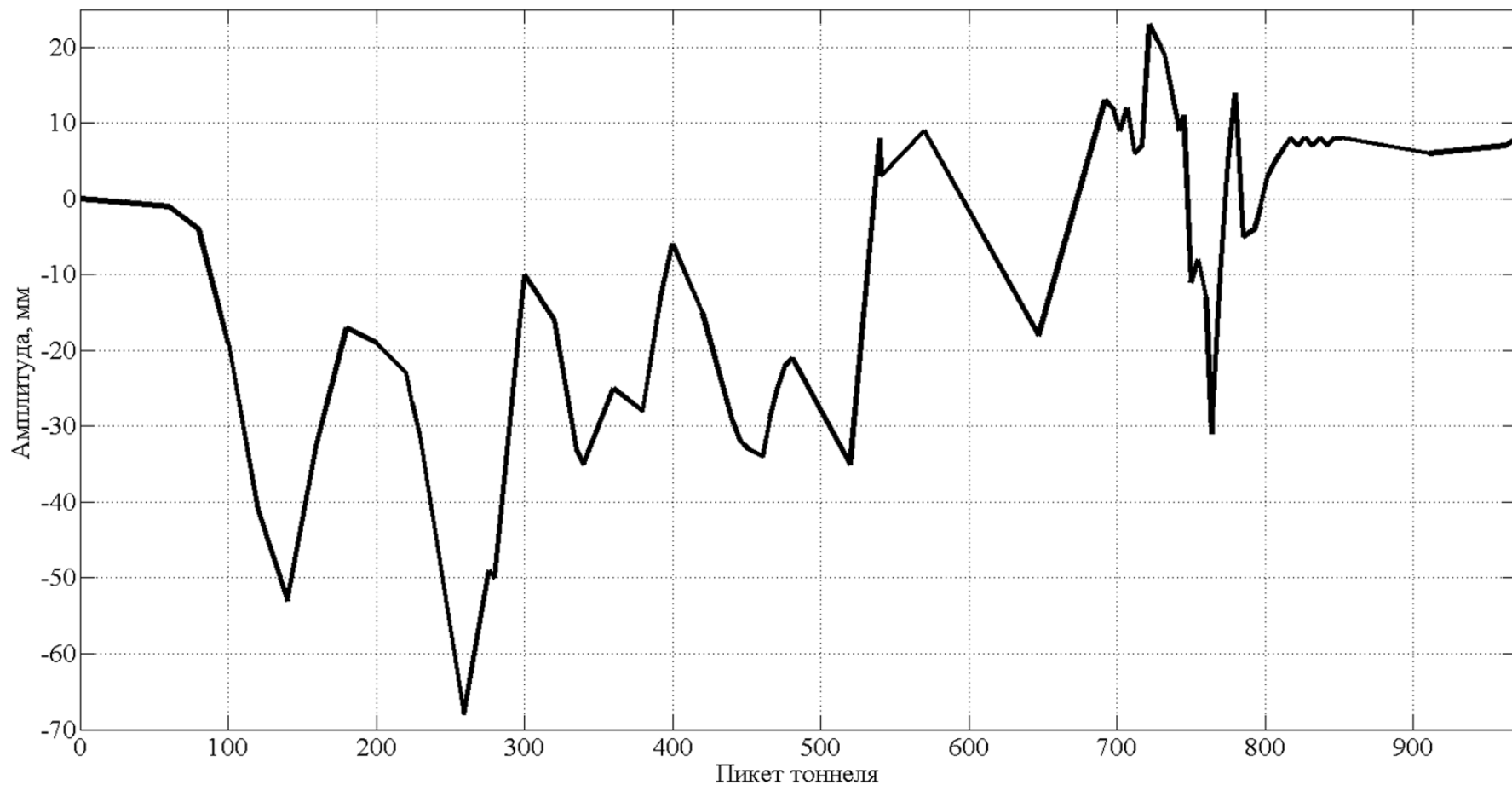
чугунная без усиления

чугунная, усиленная бетоном и
внутренней металлоизоляцией



Объект исследования

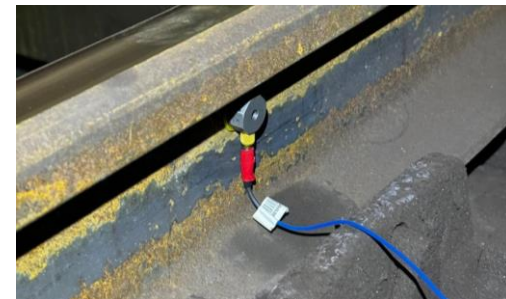
В целях комплексной оценки технического состояния тоннеля проведен анализ данных геодезического мониторинга вертикальных осадок, охватывающий период 4 года.



Максимальное изменение осадок для исследуемого участка тоннеля наблюдаются на участках ПК 220-270 и достигают практически -70 мм. На краях участка наблюдается стабилизация изменения осадок, значения колеблются около 0 мм

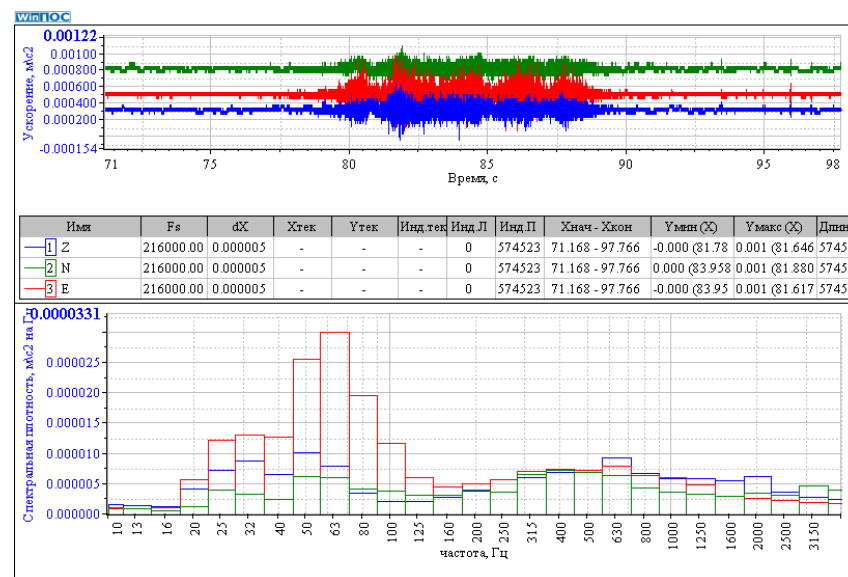
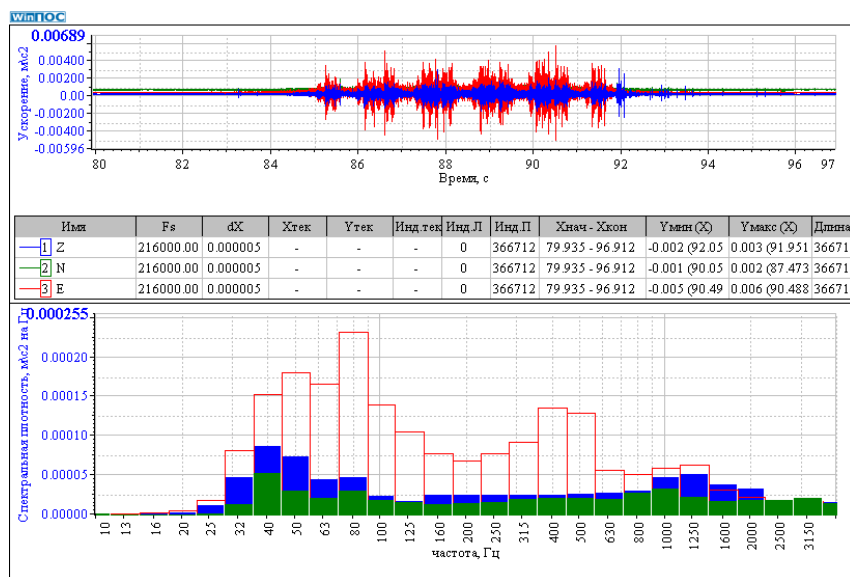
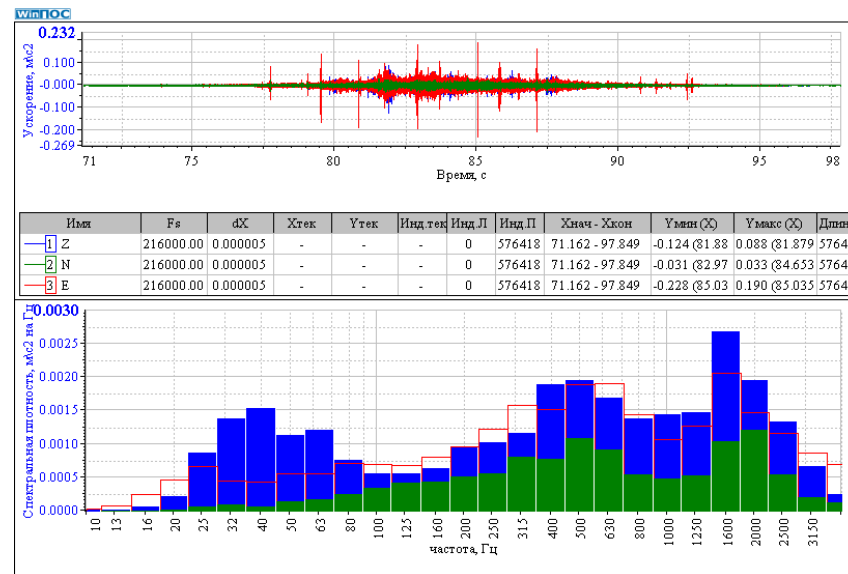
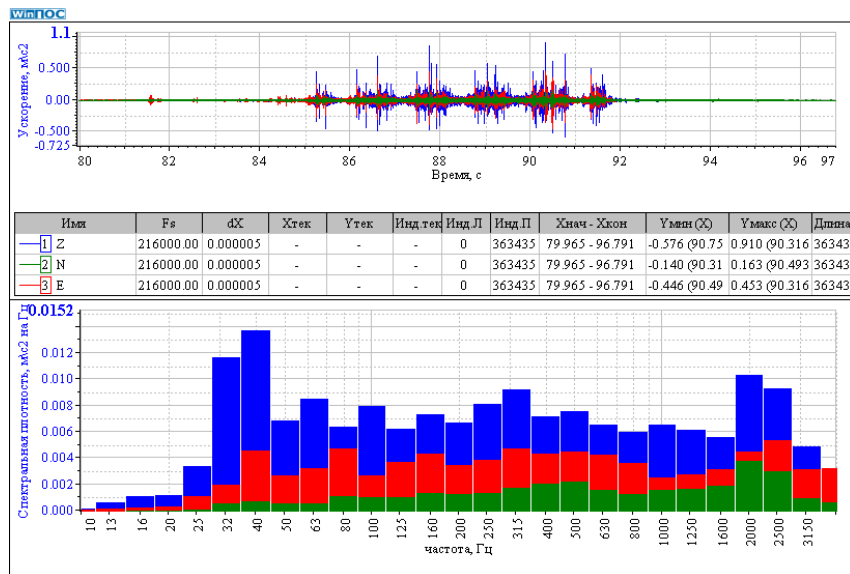
Объект исследования

Измерения вибраций от проездов поездов



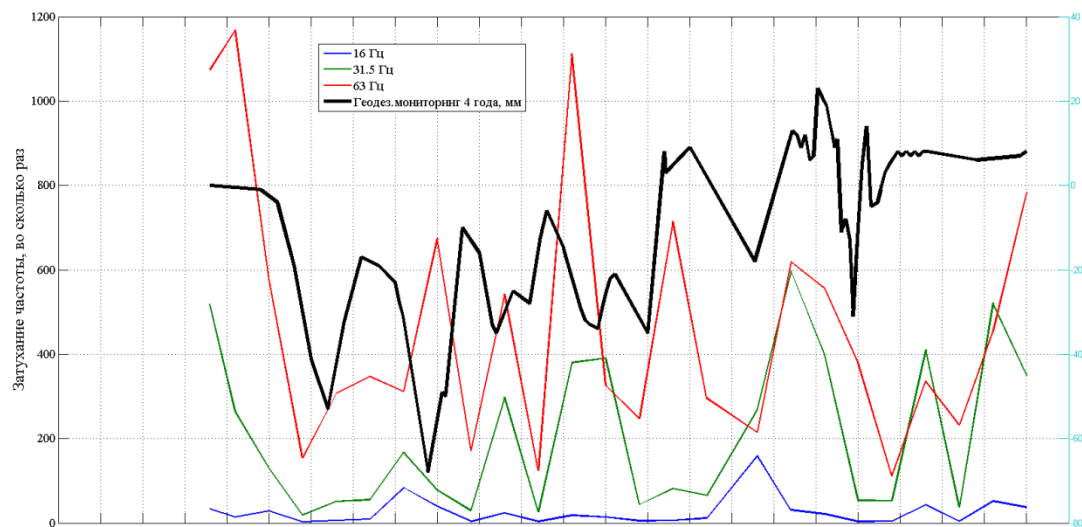
Объект исследования

Режим движения поездов через рельсовый стык (слева), по ровным рельсам (справа)



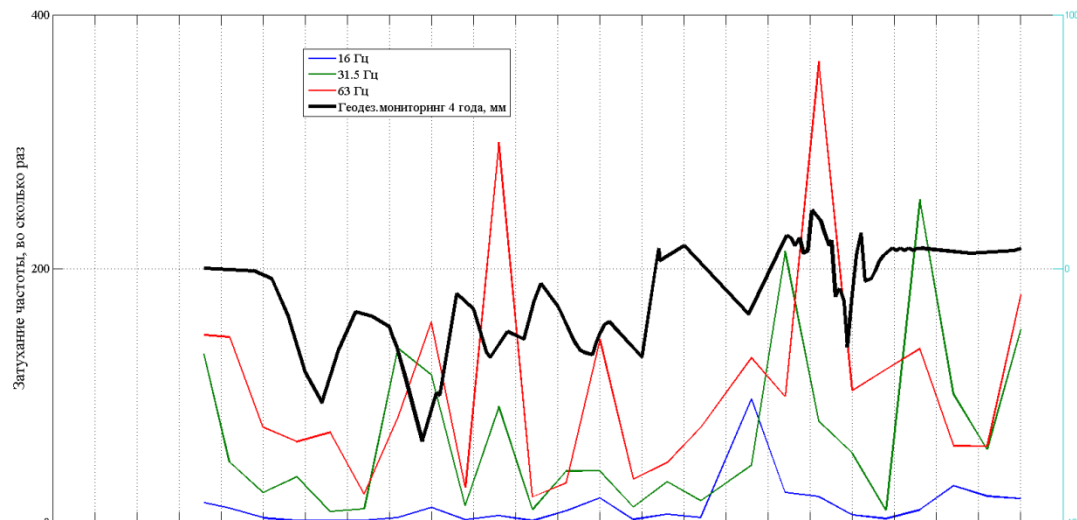
Объект исследования

Затухание от рельса к обделке ударным методом



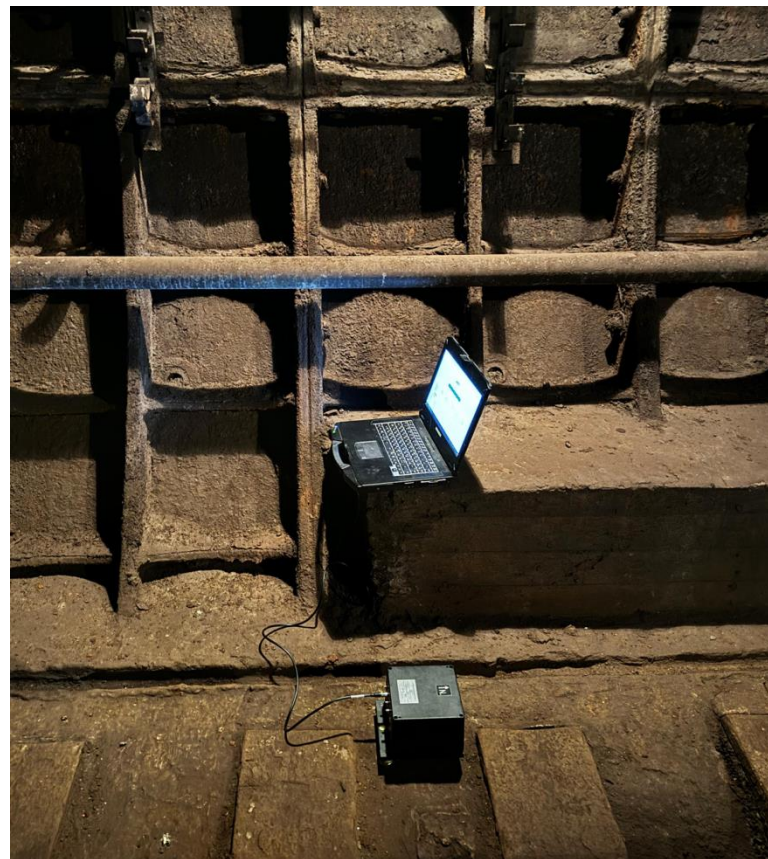
Вертикально

Горизонтально



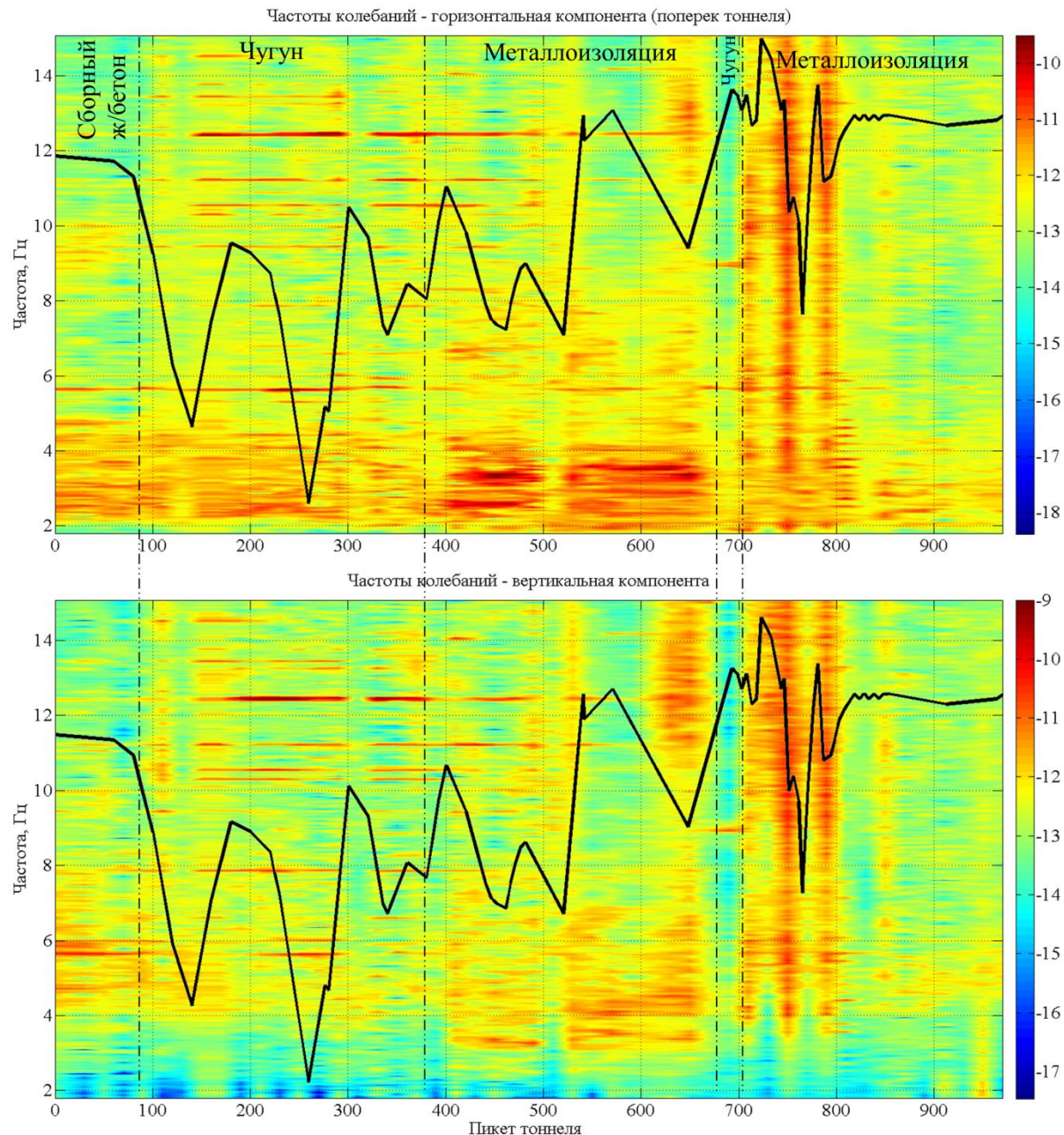
Методика исследования

Измерения проводились в ночные «окна» с шагом 20 м вдоль трассы тоннеля действующего метрополитена. В каждом пункте измерения проводились по 5-10 минут, что обеспечивало необходимую выборку данных с наиболее «тихими» интервалами времени (фоновые колебания). Регистрацию колебаний осуществлялась в частотном диапазоне от 0.1 до 125 Гц. Проводимые наблюдения позволили обеспечивать возможность изучения амплитудно-частотных характеристик колебаний. Таким образом, на представленный 1-км участок тоннеля было выполнено около 50 измерений.



Результаты исследования

На основе проведенных измерений для каждого пункта наблюдения с шагом по трассе тоннеля 20 метров были рассчитаны спектры колебаний конструкций. Наиболее информативными оказались результаты в диапазоне частот от 2 до 15 Гц, что соответствует области собственных частот колебаний тоннельных конструкций. Выявленные аномалии в гармониках спектра интерпретируются как индикаторы дефектов как самой обделки, так и вмещающего грунтового массива. Спектральный анализ проводился для каждой ортогональной компоненты.



Выводы

Настоящее исследование подтвердило эффективность спектрального анализа микросейсмических колебаний как метода контроля состояния тоннельных конструкций.

Выявлено, что изменения в собственных частотах и интенсивности колебаний могут служить надежными индикаторами наличия дефектов. Сопоставление результатов с данными геодезического наблюдения позволило выявить корреляцию между аномалиями спектра колебаний и динамикой вертикальных осадок тоннеля.

Выявленная корреляция между осадками тоннеля и изменениями частотного состава его собственных колебаний указывает на то, что деформации конструкции, связанные со знакопеременными осадками, являются причиной, а изменения динамических характеристик и частотного состава колебаний – следствием. Это объясняется тем, что любые изменения геометрических параметров и жесткости конструкции неизбежно приводят к изменению её динамических свойств, что проявляется в изменении частотного спектра собственных колебаний.

Полученные результаты демонстрируют перспективность применения комплексного подхода для оценки более полной картины технического состояния тоннельных сооружений, результаты исследований также могут быть применимы в рамках мониторинга при изменениях конструкции тоннельного сооружения или характеристик контактных условий системы «обделка – вмещающий грунтовый массив» и заобделочного пространства в целом.

Спасибо за внимание !



Андрианов Семён Валерьевич
andrianovsemen@gmail.com
+79117986741